

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究課題別中間評価報告書

1. 研究課題名

肥沃度センシング技術と養分欠乏耐性系統の開発を統合した アフリカ稲作における養分利用効率の飛躍的向上

(2017年05月～2022年05月)

2. 研究代表者

2.1 日本側研究代表者：辻本 泰弘（国立研究開発法人国際農林水産業研究センター（JIRCAS）
生産環境・畜産領域 主任研究員）

2.2 相手側研究代表者：Ramaroson Lantonirina（マダガスカル農業畜産水産省 農業総局長）

3. 研究概要

2015年に国連で採択された持続可能な開発目標（SDGs）において、極度の貧困や飢餓の撲滅が、引き続き地球規模の最重要課題として取り上げられている。特に、サブサハラのアフリカ地域は、世界で最も食料安全保障が立ち遅れた地域であり、依然として人口の約3割が慢性的な飢餓状況にあり、さらなる人口増加が続く中、地域の食料を安定的に確保するためには、作物の生産性向上が最も基盤的な課題となっている。

本プロジェクトは、アフリカ有数のコメ生産国かつ消費国であるマダガスカルを対象に、熱帯の風化土壌にみられるさまざまな養分欠乏に応じた施肥技術と養分利用に優れたイネの育種素材を組み合わせることで、肥料投入が限られた地域のイネの収量と施肥効率を大幅に改善するための栽培管理技術を開発するとともに、イネの生産性向上が農家の所得および栄養に及ぼす影響を明らかにする。こうした施肥技術と遺伝資源の活用は、低投入・低肥沃度環境にある作物生産に寄与するのみならず、肥料資源の枯渇や生育不適地への農地拡大など、今後、世界の農業が直面する課題に対して、ますます重要な役割を果たすと考えられる。

プロジェクトは下記4つの研究題目で構成されている。

研究題目1 養分特性評価：圃場の養分特性を把握するための評価技術開発と養分欠乏分布図作成

研究題目2 育種素材開発：養分の吸収利用効率に優れた育種素材開発

研究題目3 局所管理技術開発：施肥と育種素材を統合した養分利用効率の高い局所管理技術開発

研究題目4 インパクト評価：稲作技術の普及要因およびイネの生産性向上が所得と栄養改善に及ぼす社会経済的評価

各課題の成果を技術マニュアルと稲作技術の普及を推進するための政策提言としてとりまとめ、プロジェクト終了後の技術普及推進の基盤とすることを旨とする。

4. 評価結果

総合評価：A+

(所期の計画をやや上回る取り組みが行われ、大きな成果が期待できる)

設定した4研究題目(水田土壌の養分特性評価、育種素材開発、養分利用効率の高い局所管理技術開発、インパクト評価)はそれぞれ順調に進捗している。

特に、日本から導入したイネ育種系統群の年2回の現地栽培試験と選抜がF9世代まで順調に進み、リン欠乏条件で優れた生育を示す有望系統が得られた点が大きな成果としてあげられる。マダガスカルの子種管理委員会において、新品種登録の評価試験が実施されており、新品種としての登録が期待される。

また、移植時にイネ苗をリンの濃縮液に浸漬する処理(P-dipping)により、初期生育を促進し、根の形態形成を促進して、最終的に生育期間が10日前後短縮することを見出した。現地の水田土壌の多くはリン欠乏状態であり、この技術が実用化されれば、低投入・低肥沃度環境に適した養分利用効率の高い稲作技術の一つとなり得る。

さらに、現地での300~500系統の栽培試験で、低肥沃度環境での生産性に関与する新規QTL(Quantitative trait locus)とドナー系統を特定し、アウスイネDJ123が持つ硫黄欠乏下で機能するQTLを同定した。さらに、穂数を増やすQTLであるQTL-MP3の増穂・増粒効果を確認した。まだ研究の段階であるが、低肥沃度環境に適応した品種育成のための研究材料を明確にした成果は高く評価される。

土壌炭素・リンの分光放射特性解明による迅速推定法、オキシドール法を改良した土壌窒素の推定など土壌養分特性評価のための簡易分析法を開発した。今後、農家レベルでの実用化に向けた検討を期待する。

また、研究題目4が目標としているネットワーク論や技術移転論において一般化しうる知見が得られれば、社会的インパクトは大いに期待できる。

共同研究体制については、日本側、マダガスカル側ともに多くの若手研究者、学生がプロジェクトに参加しており、将来に向けた人的交流の基盤が構築されつつある。

以上のことから、所期の計画をやや上回る取り組みが行われ、大きな成果が期待できると高く評価できる。

4-1. 国際共同研究の進捗状況について

研究題目1では、土壌の窒素、リン、硫黄、ケイ素などの養分欠乏を把握するための評価法を選定し、これらの養分欠乏リスクが高い圃場条件および分布域を提示することで、圃場の養分特性に応じた効果的な施肥技術と品種選択のための基盤とする。これまでに、土壌の炭素、窒素及び主要な欠乏養分(リン)の簡易評価法を開発した。分光放射特性解明による土壌炭素、リンの迅速推

定法を開発し、低価格かつドローン搭載可能なスペクトルカメラへの応用が可能となり、土壌リン推定モデルが広域かつ多様な土壌に応用可能となった。また、土壌窒素の推定法であるオキシドール法の汎用性を高めるための改良を行った。

研究題目2では、低リン条件で根の伸長を促しリン吸収に寄与する*PSTOL1*遺伝子など、研究を進めてきた育成材料および有望な在来系統を用いながら現地での形質評価と選抜を繰り返し、低投入・低肥沃度環境に適応した育種素材を開発する。特筆すべき成果は、BC3F3世代で日本から移転したPup1系統群の年2回の現地栽培試験と選抜がF9世代まで順調に進み、リン欠乏条件で優れた生育を示す有望系統が得られた点である。その成果は、マダガスカルの子種管理委員会の評価試験を開始する段階に至った。コロナ禍で評価試験のデータ解析が開始できない状況であるが、今後の試験再開および新品種の登録がなされることを期待したい。

研究題目3では、流通する化学肥料に加えて、自給的な有機物資材などの地域資源を活用し、これらの施肥資材と研究題目2で開発される養分利用に優れた系統を組み合わせることで、圃場の養分特性に応じた、イネの収量および施肥効率を大幅に改善できる栽培技術を開発する。これまでに、リン欠乏圃場での効率的な施肥技術として、P-dippingの効果を検証し、2年間の栽培試験の結果、同量のリンを表層施肥した場合に比べて、収量（リンの施肥効率）が平均で10-35%も増加することが示された。さらに、圃場条件にかかわらず、P-dippingはリンの表層施肥に対して出穂日を早める効果があることを明らかにした。現地農家での実用化に向け、リン吸着能および移植日の異なる農家圃場でP-dippingの実験を展開し、その汎用性および圃場環境との相互作用の要因を明らかにし、品種×環境×施肥の効果的組み合わせを提示していく。

研究題目4では、稲作技術の普及に関わる社会ネットワークと自律的動機付けの役割を明らかにし、効率的な普及に必要な政策課題を取りまとめる。これまでに、開発技術のインパクト評価を行う上で重要な596家計のベースラインデータが整備された。プロジェクト後半では、圃場の養分特性情報に基づく施肥法など開発された技術の効果を測るランダム化比較試験を行う。稲作技術の普及に関わる情報伝達と動機付けの役割などを総合的に調査し、政策提言へのとりまとめを目指す。

研究題目によって若干の遅れはあるにせよ、順調な初動体制とその成果がCOVID-19の影響を吸収しているように見受けられる。育種の拠点を構築しての有望系統の開発や、P-dippingによる効率的な施肥技術の適用見通しは、研究計画に沿ったものではあるが、進捗の速さ・度合いは計画を上回るものと評価できる。各課題への取組みの方向も明確であるので、大きな成果を期待したい。

4-2. 国際共同研究の実施体制について

各研究課題の実施にあたり両国は連携を密に取っており、特に、若手研究者の積極的な交流を図っている点は高く評価される。また、研究代表者はマダガスカルの稲作に関わる農業・農村調査の経験が豊富で、水田農業の実態と問題点をよく理解し、マダガスカルの研究関係者だけでな

く、研究遂行上必要な行政機関との人脈も築いている。さらに、研究メンバーをよくリードし、水田の土壌特性解明、イネ栽培技術上の問題点の解明と技術の開発を目標として、現場で起こっている現象に対して学術的な考察と解析を進めている。

また、プロジェクトの比較的早い段階で、マダガスカルによって、実験室と温室などの実験施設の基盤が整備された。それにより、日本からの供与機材の整備が進み、遺伝子解析ラボと交配温室が完成した。マダガスカルのイネ育種拠点が、プロジェクト開始2年で開所式を迎えるなどハード面での整備は計画以上に進んでいる。

さらに、それら施設を活用する研究者の人材育成も日本での長期研修によって順調に進んでいる。一方で、マダガスカル研究機関での研究者の雇用が不安定であるなどの問題があり、プロジェクト終了後に拠点としての活用が継続するかが今後の課題となる。

4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

P-dippingが実用化されれば低投入・低肥沃度環境に適した養分利用効率の高い稲作技術の一つとなり得る。まだ根箱試験の段階であるが、リン浸漬による根へのリンの吸着量が根の形態とも関係していることが推測され、技術の最適化に向けて、根の形態形成の分子育種研究者と連携することも計画されており、さらなる展開が期待される。低投入・低肥沃度環境に適応した養分利用効率の高い稲作技術は世界の他の稲作地域にも適用できる可能性が高い。特に、アフリカでは化学肥料の利用率が低いため、農家が自ら準備できる堆肥や施肥法との組み合わせで、養分利用効率が高く地域適応性の高い品種を用いる稲作技術は喫緊に求められている技術であり、今回の成果の社会的インパクトは高いと考えられる。

また、リン吸収に優れたイネ系統についてはマダガスカルにおける普及を確実に行うことが重要である。マダガスカルでの普及の着実な実施により、アフリカ諸国や他地域の養分欠乏土壌が原因で生産が劣る国々への波及効果も期待される。

さらに、本プロジェクトは、若い研究代表者のもと、参画している研究者も総じて若いメンバーが多い。代表機関を中心に、多くの若手研究者や学生を現地に派遣し、様々な人材育成スキームを活用することにより、日本人研究者の人材育成を図っていることは評価できる。

4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

マダガスカルの若手研究者の育成は着実に行われている。マダガスカルにおける研究者の雇用が確実になされれば、日本側との長期的共同研究が継続することが大いに期待できる。しかし、現状では、マダガスカル研究機関での研究者の雇用が安定しないことが懸念され、このままでは機関レベルでの人的交流の持続性が危ぶまれる。

研究成果に関しては、論文投稿数が着実に増加してきており（原著論文10報、商業誌・機関誌など5報、国際学会11報、11報の原著論文が査読中など）、土壌分析やイネ栽培マニュアルの作

成も計画されている。そのため研究面での成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展していく見込みがある。さらに、研究成果の学術的発信に加えて、キックオフ会議、JCC、および研究施設の開所式などの機会を活用した 29 件のメディア発信などに加え、3 回の農民集会の開催を通して、マダガスカル国内におけるプロジェクトの認知度を高めてきた実績は高く評価できる。

一方、今後の継続性をより強固にするため、JICA の関連プロジェクトをはじめ、世界銀行、フランス国際農業開発研究センターなどマダガスカルの稲作振興に関係する複数のドナーとの連携を強化して、本プロジェクトで開発された技術を協働して現地に普及させることが必要である。

4-5. 今後の課題・今後の研究者に対する要望事項

1. P-dipping については小規模農家の技術として普及の可能性があるが、根の肥料焼けの問題の解決や、適用できる土壌の種類を明らかにすることが重要であり、幅広い応用を踏まえた検討を進めていただきたい。さらに、適応幅拡大（イネ機械移植用育苗、野菜苗育苗）のため、育苗時の根圏土壌の形状に注目した研究への展開に期待する。
2. 品種登録のための有望系統の圃場評価試験を実施し、プロジェクト終了までに品種登録を確実に実施いただきたい。また、新規育成系統の評価に際しては、主要な改良目標に対応した土壌窒素、リン、硫黄の供給能の異なる圃場の選択に留意していただきたい。
3. 穂数（籾数）を増大させた系統は登熟歩合が低下しやすい遺伝的・生理的な特性を持つことが多い。これまで注目された籾数を増強した系統はトレードオフにより登熟歩合が低下し、籾数増加が収量増加に結び付きにくいことが明らかになっている。籾数増加を収量増加に結びつけるためには、生育後半におけるソース能の改良が重要であり、品種の光合成能、窒素の供給、登熟期の日射量などを考慮した戦略を検討いただきたい。
4. 土壌の簡易分析手法、特に土壌窒素推定法（オキシドール法の改良）、土壌炭素・リン迅速推定法の実用化と技術マニュアルの作成を行い、マダガスカルにおける技術の持続性を担保していただきたい。また、プロジェクト期間中に土壌硫黄とケイ酸の簡易分析手法の開発も期待したい。さらに、簡易土壌診断に基づく収量向上技術（有機質肥料施用、品種の選択、P-dipping など）の総合的な栽培改善マニュアルの作成を期待する。
5. 本プロジェクトは、プロジェクト目標ならびに上位目標ともに、稲作の生産性向上を目指しており、農家の生計向上には触れていない。また研究題目 4 の主眼は、学術的な知見にあるように見受けられ、そのこと自体を否定するつもりはなく、むしろ期待するところであるが、さらに研究題目 1~3 の成果をふまえ、農業セクターにおける実行可能な政策提言にもつながることを期待したい。
6. JICA の関連プロジェクト（PaprizⅢ）との連携など効果的技術普及び推進方法の実証とそれに基づく政策提言を期待したい。さらに、アフリカの他の地域での適用や、他の有効技術・

他の制約条件との関係をも明らかにして、技術の一般化を進めていただきたい。

以上

研究課題名	肥沃度センシング技術と養分欠乏耐性系統の開発を統合したアフリカ稲作における養分利用効率の飛躍的向上
研究代表者名 (所属機関)	辻本 泰弘 (国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター)
研究期間	(平成28年6月1日～令和4年3月31日)
相手国名／主要相手国研究機関	マダガスカル共和国／農業畜産省、国立農村開発応用研究センター、アンタナナリボ大学放射線研究所、国立栄養局

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	・国連の新たな開発目標(2016-2030)および日本政府が対アフリカ農業支援の核とするコメ生産倍増計画(GARD/TICAD)に対する貢献 ・鉱山開発の副産物として産出される肥料資源の地域農業への還元
科学技術の発展	・低肥沃度環境および肥料資源枯渇に対応した養分利用効率に優れた育種素材と作物生産技術の開発
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	・養分の吸収利用に寄与するイネの遺伝資源に関する知財獲得とマダガスカルでの有望系統の作出 ・マダガスカル在来イネ系統の特性評価と遺伝情報の入手
世界で活躍できる日本人人材の育成	国際共同研究の推進、国際会議・査読付き論文での成果公表を通じた国際的認知度の高い若手研究者の育成
技術及び人的ネットワークの構築	・国際共同研究体制の構築 ・開発技術の広域展開に向けた国内外機関、メディア、種子・肥料セクターとの連携強化
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	・マダガスカル中央高地における土壌炭素量と養分欠乏分布図、および評価法マニュアル ・養分吸収利用に寄与するイネのQTL、DNAマーカー、遺伝子、およびこれらの素材を導入した育成系統 ・イネの生産効率を改善するための技術マニュアルと普及のための政策提言 ・査読付き論文(25件以上) = 7件

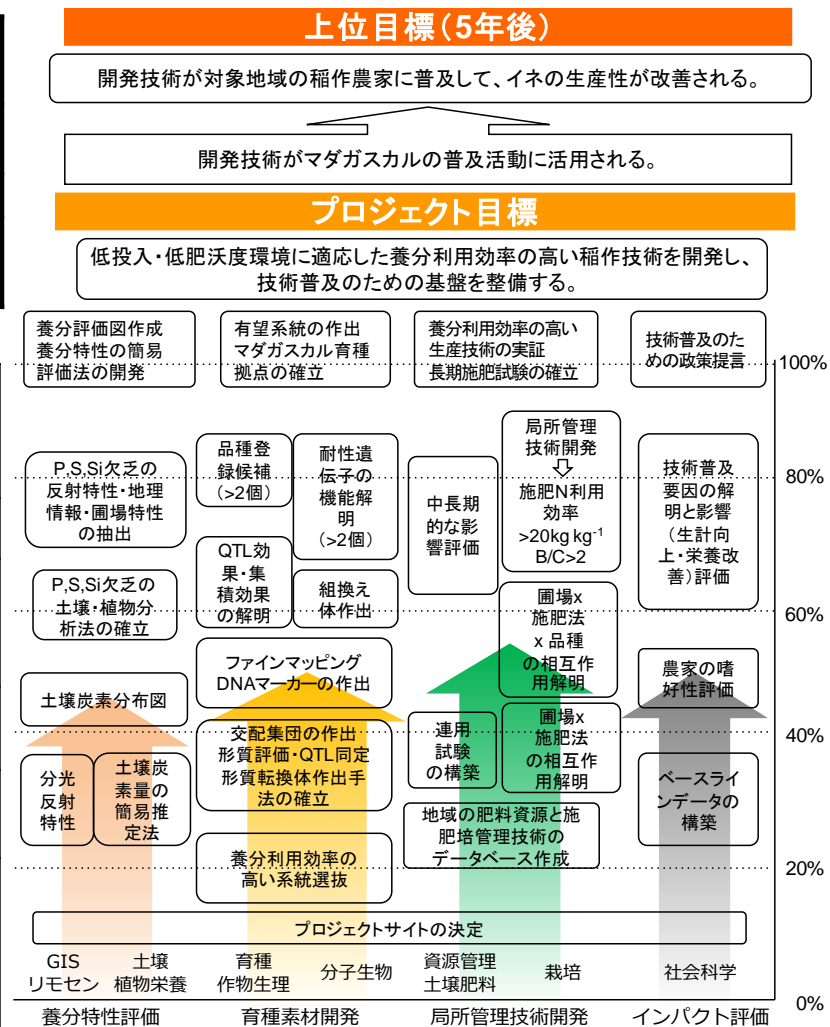


図1 成果目標シートと達成状況(2020年7月時点)